

REALISASI UNTAI ELEKTRONIS UNTUK MODEL BIDANG DASAR PRINSIP MIMO 2 x 2

Umar Sidiq An Naas¹, Budi Setiyanto²,
Astria Nur Irfansyah²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

²Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

Abstrak

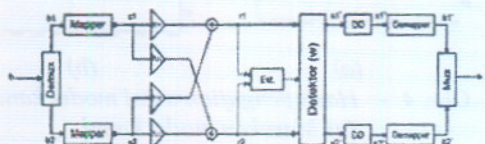
MIMO (Multiple Input Multiple Output) merupakan metode pengiriman isyarat informasi dengan menggunakan antena jamak baik pada sisi pengirim maupun pada sisi penerima. MIMO banyak digunakan dalam sistem komunikasi modern karena menawarkan pesat bit tinggi dan kapasitas besar. Penelitian ini bertujuan untuk memperlihatkan unjuk kerja model bidang dasar sistem MIMO 2 x 2. Terdapat tiga blok besar dalam model bidang dasar sistem MIMO 2 x 2 yaitu model kanal, VCA (Voltage-Controlled Amplifier), dan kendali tapis adaptif. Model kanal sebagai ilustrasi kanal pada pengiriman isyarat melalui udara, sedangkan pada sisi penerima kendali tapis adaptif berfungsi mengatur besarnya bobot perolehan VCA dengan algoritma Least Mean Square (LMS) untuk memulihkan isyarat yang saling interferensi pada blok model kanal. Kendali tapis adaptif terdiri dari blok yang lebih kecil yaitu pengkondisi isyarat, sistem mikrokontroler (μC), DAC (Digital to Analog Converter), dan untai Sample and Hold. Simulasi rancangan dan pembuatan perangkat keras menggunakan bantuan program OrCAD Complete Suite 9.1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dua masukan yang telah saling interferensi mampu dipulihkan kembali hingga mendekati isyarat asli pada pengirim.

Kata kunci : MIMO, VCA, DAC, Least Mean Square, tapis adaptif

1. Pendahuluan

Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah suatu teknologi yang menggunakan prinsip *diversity* yang menggunakan beberapa antena pada pemancar dan penerima. MIMO bertujuan untuk meningkatkan laju data dalam jangkauan yang lebih besar tanpa membutuhkan *bandwidth* atau daya transmisi yang besar [1].

Sistem MIMO yang direalisasikan adalah sistem MIMO 2 x 2 dengan kanal transmisi berupa udara yang ditunjukkan pada Gambar 1 [2].



Gbr. 1 - Diagram implementasi MIMO 2 x 2 lewat udara

Berdasarkan Gambar 1 dapat dituliskan beberapa persamaan untuk sistem MIMO 2 x 2 [3], yaitu

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} s_1' \\ s_2' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

dengan

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \text{ dan}$$

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} \\ w_{21} & w_{22} \end{bmatrix}$$

maka dapat dituliskan

$$[r] = [H][s] \quad (3)$$

Sehingga

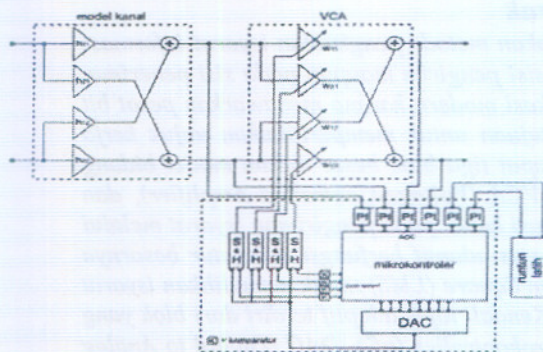
$$[s'] = [W][r] = [W][H][s].$$

Jika penerima mengetahui nilai $[H]$ maka nilai $[W]$ akan dapat diestimasi secara sempurna yaitu $[W] = [H]^{-1}$. Namun karena karakteristik kanal udara yang dinotasikan sebagai $[H]$ tidak diketahui, maka digunakan suatu metode estimasi untuk mengatur nilai $[W]$ agar mampu memulihkan isyarat $[r]$ pada sisi penerima.

Dalam realisasi sistem MIMO 2 x 2, terdapat tiga bagian utama yaitu bagian model kanal, kanal estimasi yang dalam hal ini menggunakan perolehan berkecenderungan tegangan (Voltage Controlled Amplifier, VCA), dan kendali tapis adaptif. Isyarat dikirim melalui model kanal yang berfungsi sebagai simulasi interferensi yang terjadi pada sistem MIMO 2 x 2 lalu isyarat tersebut dipulihkan oleh kanal estimasi berupa VCA dan kendali tapis adaptif yang terdapat pada sisi penerima.

2. Metode Penelitian

Tahapan penelitian terdiri atas perancangan, pengimplementasian ke perangkat keras, pengujian perangkat keras dan pengambilan data, dan analisa data hasil pengujian.. Tahapan perancangan meliputi perancangan untai berdasar spesifikasi fungsional dan pensimulasian untai hasil perancangan menggunakan *software* OrCAD Complete Suite 9.1. Perancangan untai mengacu pada spesifikasi dan diagram blok pada Gambar 2.



Gbr. 2 - Diagram blo realisasi untai elektronis sistem MIMO 2 x 2

Tahapan selanjutnya, hasil perancangan diimplementasikan menggunakan komponen-komponen elektronika pada *breadboard* terlebih dulu. Setelah diperoleh hasil yang diinginkan, rangkaian diimplementasikan ke PCB dengan bantuan OrCAD Complete Suite 9.1. Tahapan pengujian perangkat keras dan pengambilan data dilakukan dengan melibatkan sumber data luar, osiloskop, dan kamera beresolusi tinggi.

2.1 Model Kanal

Bagian ini menunjukkan karakteristik kanal MIMO 2 x 2 yang ditransmisikan melalui udara yaitu terdapat kemungkinan saling interferens antar kedua isyarat yang dikirimkan. Interferensi ditunjukkan dengan adanya bocoran isyarat dari jalur yang seharusnya ke jalur yang merupakan jalur isyarat lain.

2.2 Untai Peroleh-Berkendali-Tegangan (Voltage Controlled Amplifier, VCA)

Voltage Controlled Amplifier merupakan rangkaian amplifier yang perolehannya dapat diatur dengan mengubah isyarat kendali yang berupa tegangan DC. Isyarat kendali tersebut dihasilkan oleh untai Kendali Tapis Adaptif setelah melakukan perhitungan dengan algoritma *Least Mean Square* (LMS).

2.3 Kendali Tapis Adaptif

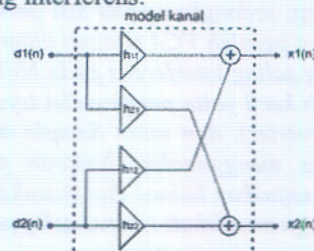
Untai kendali tapis adaptif berfungsi untuk melakukan perhitungan dan menghasilkan keluaran berupa isyarat kendali untuk mengatur peroleh VCA. Bagian kendali tapis adaptif terdiri dari beberapa blok yaitu Pengkondisi Isyarat (PI), mikrokontroler (μC) beserta sistem minimal, Pengubah Digital-ke-Analog (*Digital-to-Analog Converter*, DAC), dan untai cuplik tahan (*Sample and Hold*, S&H).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian tiap blok dan keseluruhan sistem MIMO 2 x 2 diuraikan pada sub bab berikut.

3.1 Model Kanal

Untai model kanal ditunjukkan pada Gambar 3. Pengujian model kanal dilakukan untuk melihat hasil dua buah isyarat masukan yang telah saling interferens.

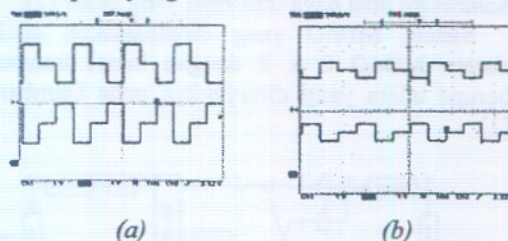


Gbr. 3 - Untai model kanal

Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian model kanal dengan nilai H adalah

$$H = \begin{bmatrix} 0,67 & 0,33 \\ 0,32 & 0,66 \end{bmatrix}$$

Terlihat bahwa isyarat keluaran model kanal sudah tidak menyerupai isyarat masukannya. Nilai H yang digunakan untuk seluruh pengujian adalah seperti yang telah didefinisikan tersebut.

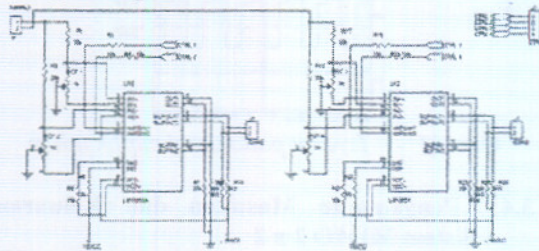


Gbr. 4 - Hasil pengujian untai model kanal
(a) Masukan model kanal
(b) Keluaran model kanal

3.2 VCA

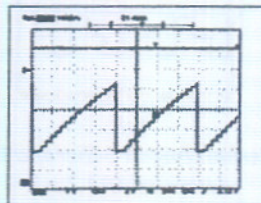
Untai VCA merupakan empat buah penguat yang dapat diatur perolehannya menggunakan isyarat kendali VCA dari μC . Fungsi untai ini adalah memulihkan isyarat yang telah saling interferens pada untai model kanal. Kedua isyarat yang telah saling interferens akan saling diinterferensikan lagi dengan suatu perolehan

tertentu yaitu w_{11} , w_{12} , w_{21} , dan w_{22} . Untai VCA ditunjukkan pada Gambar 5.



Gbr. 5 - Untai VCA

Pengujian dilakukan dengan mengamati masukan dan keluaran pada untai VCA saja. Untai VCA pada dasarnya hampir sama dengan untai model kanal, hal yang membedakan keduanya adalah peroleh pada model kanal diatur secara manual yaitu dengan menggunakan potensiometer sedangkan pada VCA peroleh diatur dengan mengubah isyarat kendali VCA yang berasal dari sistem μC . Pada pengujian ini digunakan perintah pada μC untuk mengeluarkan suatu nilai agar besarnya tegangan pada keluaran DAC berkisar antara -7 hingga 4,2 volt dengan bentuk anak tangga. Hasil keluaran VCA ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gbr. 6 - Perbandingan masukan dan keluaran VCA dengan peroleh 0,7-2,4

3.3 Untai Kendali Tapis Adaptif

Perangkat keras kendali tapis adaptif berfungsi untuk mengatur besarnya peroleh yang diberikan oleh empat buah VCA terhadap kedua isyarat yang telah saling interferens pada untai model kanal. Pada kendali tapis adaptif komponen utamanya adalah μC beserta sistem minimalnya, karena μC adalah otak dari perhitungan estimasi kanal dengan algoritma LMS dengan persamaan sebagai berikut [4]

$$w(n+1) = w(n) + 2\mu e(n)x(n)$$

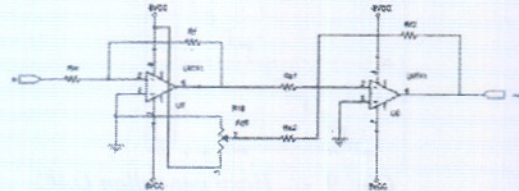
(4)

Namun pada pengujian ini yang dapat diamati adalah blok-blok pendukung sistem μC ini, yaitu pada bagian untai analognya. Betul atau tidaknya kinerja sistem μC secara riil dapat dilihat pada bagian untai analog tersebut. Oleh karena

yang diamati pada bagian kendali tapis adaptif ini adalah blok untai pengkondisi isyarat, DAC, dan untai cuplik tahan.

3.3.1 Pengkondisi Isyarat

Untai pengkondisi isyarat (PI) berfungsi sebagai perantara antara isyarat yang akan diolah oleh sistem μC dengan sistem μC itu sendiri. Untai PI ditunjukkan pada gambar

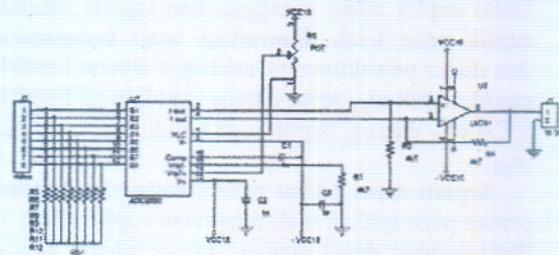


Gbr. 7 - Untai pengkondisi isyarat

Sistem μC hanya mampu membaca level tegangan masukan antara 0-5 volt, sedangkan tegangan yang dikondisikan yaitu $x1(n)$ dan $x2(n)$ sebagai keluaran model kanal, serta $y1(n)$ dan $y2(n)$ sebagai keluaran sistem MIMO 2×2 memiliki rentang antara -7,5 hingga 7,5 volt. Sehingga isyarat diskalakan agar dapat dibaca dengan baik oleh μC .

3.3.2 DAC

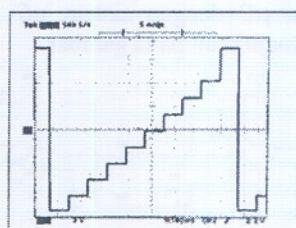
Untai DAC adalah untai yang mempunyai peran sebagai antar muka antara untai digital dan untai analog pada sisi keluaran dari sistem μC . Keluaran dari sistem μC adalah isyarat kendali untuk empat buah VCA yang dikeluarkan secara serial melalui satu port. Isyarat kendali tersebut adalah hasil perhitungan algoritma LMS pada sistem μC yang dikeluarkan melalui delapan kaki Port C ATMEGA8535 yang langsung dihubungkan ke DAC untuk diubah ke tegangan analog. Untai DAC ditunjukkan pada Gambar 8.



Gbr. 8 - Untai DAC

Pengamatan dilakukan pada kaki keluaran untai DAC untuk melihat apakah keluaran yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan oleh sistem μC . Pengamatan dilakukan yaitu dengan memberikan perintah kepada μC untuk mengeluarkan suatu tegangan dengan bentuk anak tangga.

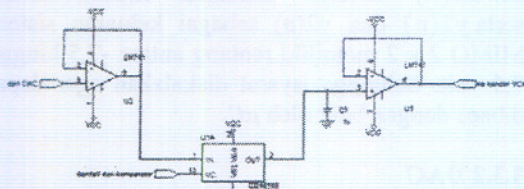
Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa DAC mengeluarkan tegangan tangga seperti yang diperintahkan oleh μC . μC mengeluarkan data yang bernilai dari 0 hingga 200 dengan rentang kenaikan 25 lalu nilai terakhir adalah 250. Sedangkan Gambar 10 menunjukkan grafik hubungan masukan dan keluaran DAC.



Gbr. 9 - Hasil pengujian DAC

3.3.3 Untai Cuplik dan Tahan

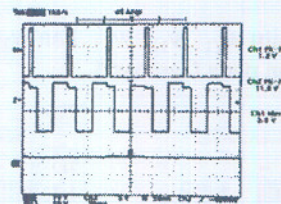
Untai cuplik tahan ditunjukkan pada Gambar 10. Pengujian untai cuplik tahan dilakukan untuk melihat hasil pencuplikan dan tahan bobot w untuk masing-masing VCA.



Gbr. 10 - Untai cuplik tahan

Pada dasarnya untai cuplik tahan berfungsi menahan isyarat selama periode tertentu, namun dengan mengatur pulsa cuplik dengan menggunakan kendali cuplik dari sistem μC maka untai cuplik tahan pada blok kendali tapis adaptif dapat berfungsi memisahkan isyarat kendali untuk masing-masing VCA yang dikeluarkan secara serial oleh μC dan telah melalui DAC. Untai cuplik tahan menggunakan isyarat kendali cuplik yang telah dilewatkan untai komparator dan diatur pewaktuannya sehingga isyarat kendali cuplik untuk w_{11} tepat datang saat isyarat kendali VCA w_{11} datang, begitu juga untuk w_{12} , w_{21} , dan w_{22} .

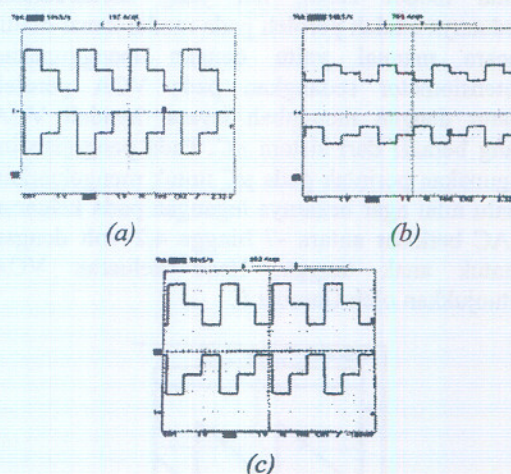
Seperti dapat dilihat pada Gambar 11 terlihat proses pencuplikan oleh rangkaian cuplik tahan 1. Pada gambar dapat diamati bahwa isyarat paling atas adalah isyarat kendali cuplik yang telah dilewatkan komparator, lalu isyarat di bawahnya adalah isyarat kendali VCA yang telah diubah oleh DAC menjadi tegangan analog, dan isyarat yang paling bawah adalah isyarat keluaran untai cuplik tahan.



Gbr. 11 - Isyarat pada untai cuplik tahan

3.4 Pengamatan Masukan dan Keluaran Sistem MIMO 2 x 2

Secara keseluruhan fungsi sistem MIMO 2 x 2 adalah memulihkan isyarat yang telah rusak karena adanya saling interferens pada model kanal sehingga pada sisi penerima akan didapatkan isyarat yang mirip dengan isyarat masukan.



Gbr. 12 - Perbandingan beberapa isyarat pada sistem MIMO 2 x 2

- (a) Isyarat $d1(n)$ dan $d2(n)$
- (b) Isyarat $x1(n)$ dan $x2(n)$
- (c) Isyarat $y1(n)$ dan $y2(n)$

Pada Gambar 12 (a) terlihat masukan sistem MIMO 2 x 2 berupa isyarat berbentuk tangga periodis dengan level 3, 2, dan 1 volt untuk isyarat $d1(n)$ dan level 1, 2, dan 3 volt untuk isyarat $d2(n)$. Setelah melalui untai model kanal kedua isyarat tersebut saling interferens sehingga mengalami kerusakan seperti pada Gambar 13 (b). Dengan skala yang sama pada osiloskop dapat dilihat bahwa kedua isyarat $x1(n)$ dan $x2(n)$ mengalami pelemahan dari sisi besarnya tegangan puncak-ke-puncak. Sehingga isyarat yang dikirim sudah tidak sama dengan isyarat yang diterima pada sisi penerima, oleh karena itu di sisi penerima isyarat rusak tersebut dilewatkan suatu kanal estimasi yang terdiri dari VCA dan untai kendali adaptif. Setelah dilewatkan kanal estimasi inilah kedua isyarat $d1(n)$ dan $d2(n)$ dipulihkan menjadi isyarat $y1(n)$ dan $y2(n)$ pada Gambar 13 (c). Terlihat pada gambar tersebut

level tegangan pada kedua isyarat $y1(n)$ dan $y2(n)$ sudah mendekati isyarat asli $d1(n)$ dan $d2(n)$ yang dikirim.

3.5 Pengamatan Operasi Sistem MIMO 2 x 2

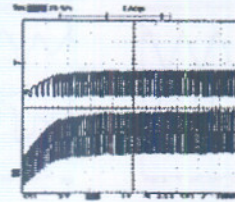
Pengamatan operasi sistem MIMO 2 x 2 adalah dengan memperhatikan tiga hal penting pada sistem, yang pertama yaitu masukan sistem, yang kedua adalah proses pencapaian bobot atau w optimum pada keempat VCA, dan yang terakhir adalah keluaran sistem. Pada pembahasan sebelumnya telah diperlihatkan keberhasilan sistem MIMO 2 x 2 dalam memulihkan isyarat yang telah rusak karena saling interferens, maka pada pembahasan ini akan diuraikan tentang proses yang terjadi selama sistem MIMO 2 x 2 beroperasi.

3.5.1 Mode Latih

Pengamatan yang pertama adalah dengan memperhatikan bentuk isyarat latih pada sisi pengirim dan membandingkannya dengan isyarat keluaran sistem pada sisi penerima. Isyarat latih ini diketahui oleh sisi penerima sehingga dapat diketahui seberapa besar galat yang dihasilkan pada saat proses estimasi. Pada sisi penerima, isyarat latih dibangkitkan oleh pembangkit runtun latih secara sinkron dengan masukan sistem sehingga dapat dijadikan referensi pada saat dilakukan perhitungan dengan algoritma LMS untuk menentukan bobot-bobot pada VCA. Tujuan dari isyarat latih ini adalah untuk mempersiapkan untai VCA sehingga memiliki bobot yang tepat sehingga isyarat yang telah saling interferens oleh model kanal dapat kembali dipulihkan oleh VCA.

Pada kondisi pertama nilai bobot VCA tidak diatur sehingga isyarat dipulihkan oleh VCA dengan kondisi apa adanya. Pada kondisi ini masih terdapat galat yang besar antara masukan sistem dan keluaran sistem karena VCA tidak diatur sehingga menghasilkan bobot yang tidak tepat.

Pengamatan yang kedua adalah sistem dioperasikan dengan untai kendali tapis adaptif aktif sehingga algoritma LMS melakukan iterasi untuk memperbaharui bobot-bobot VCA atau disebut proses estimasi. Telah ditunjukkan pada pembahasan sebelumnya bahwa isyarat yang telah dipulihkan mirip dengan isyarat masukan. Pada pembahasan ini akan ditunjukkan dua buah gelombang yang menunjukkan proses iterasi pencarian bobot optimum dengan hasil yang diperoleh pada keluaran sistem yaitu isyarat $x1(n)$.



Gbr. 13 - Proses estimasi untuk mencapai bobot optimum

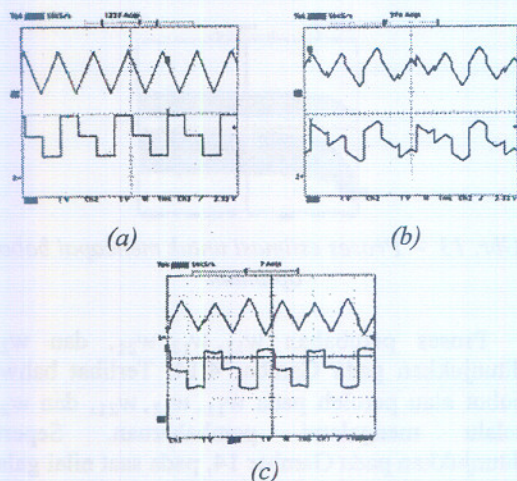
Proses perubahan w_{11} , w_{12} , w_{21} , dan w_{22} ditunjukkan pada Gambar 4.14. Terlihat bahwa bobot atau perolehan pada w_{11} , w_{12} , w_{21} , dan w_{22} selalu mengalami pembaharuan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 14, pada saat nilai galat besar maka pembaharuan bobot juga nampak jelas, sedangkan pada saat galat sudah bernilai kecil maka pembaharuan bobot hampir tidak terlihat karena relatif kecil.

3.5.2 Mode Pengiriman Data

Saat nilai galat kecil dan bobot w_{11} , w_{12} , w_{21} , dan w_{22} sudah mencapai nilai optimum, maka sistem dipindah ke mode pengiriman data. Pemindahan mode ini dengan cara menggeser saklar pada sistem μC sehingga secara otomatis program pada μC akan mengatur agar μC mengambil data bobot-bobot optimum yang telah dicapai pada proses iterasi, lalu menahannya selama mode pengiriman data berlangsung.

Pengamatan dilakukan dengan memberikan masukan dua buah isyarat yang berbeda level tegangannya pada sistem yang telah memiliki bobot w_{11} , w_{12} , w_{21} , dan w_{22} yang optimum tersebut. Berdasarkan karakteristik VCA yang telah diuji, maka diberikan batasan masukan isyarat pada sisi pengirim sistem MIMO 2 x 2 ini adalah isyarat positif dengan rentang 0–5 volt.

Pengujian yang dilakukan adalah dengan memberikan masukan isyarat segitiga pada masukan $d1(n)$ dan isyarat tangga pada masukan $d2(n)$. Pada Gambar 15 dapat dibandingkan masukan, isyarat yang telah saling interferens, dan isyarat yang telah dipulihkan. Isyarat masukan pada gambar 16 (a) dikirimkan melalui model kanal. Isyarat yang telah begitu rusak pada keluaran model kanal sesuai pada Gambar 16 (b) mampu dipulihkan dengan cukup baik oleh kanal estimasi, sehingga didapatkan bentuk isyarat yang mirip dengan isyarat informasi yang dikirimkan. Isyarat hasil estimasi yang ditunjukkan oleh Gambar 16 (c) ini memiliki bentuk yang hampir serupa dengan isyarat masukannya, sehingga dapat dikatakan isyarat informasi dari sisi pengirim dapat diterima dengan baik pada sisi penerima.



Gbr. 14 - Percobaan dengan masukan isyarat segitiga dan isyarat tangga

- (a) Isyarat $d1(n)$ dan $d2(n)$
- (b) Isyarat $x1(n)$ dan $x2(n)$ sebagai keluaran model kanal
- (c) Isyarat $y1(n)$ dan $y2(n)$ yang telah dipulihkan

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem MIMO 2 x 2 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Masing-masing bagian untai model kanal, VCA, dan kendali tapis adaptif dapat beroperasi dengan benar sesuai dengan fungsinya masing-masing.
2. Kanal estimator yang terdiri dari VCA dan kendali tapis adaptif dengan algoritma LMS dapat memulihkan isyarat masukan yang telah rusak pada model kanal.
3. Masukan VCA harus berupa isyarat positif agar dihasilkan keluaran dengan perolehan seperti yang diharapkan.

5. Referensi

- [1] T. Ohgane, T. Nishimura, and Y. Ogawa, "Applications of Space Division Multiplexing and Those Performance in a MIMO Channel," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E88-B, no.5, pp.1843-1851, May. 2005
- [2] Setiyanto, B., 2010, *Mengenal MIMO*, handout, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [3] Setiyanto, B., 2010, *Mengenal MIMO*, handout, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

- [4] B. Farhang-Boroujeny, 1998, *Adaptive Filters: Theory and Application*, John Wiley and Sons, New York.